

УДК 662.67 (477) (045)

¹В.С. Ковальський, д-р екон. наук²О.М. Зубченко, канд. техн. наук³М.В. Богуслав

ГОРЮЧІ СЛАНЦІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИКИ І ХІМІЇ УКРАЇНИ

¹Кіровоградський національний технічний університетE-mail: ukrbiodiesel@ua.fm²НАУ, кафедра технологічного обладнанняE-mail: vcr_all@ukr.net³Комітет молодіжних та дитячих громадських організацій м. КиєваE-mail: bogus-love@mail.ru

Розглянуто роль горючих сланців в енергетиці та хімії України, їх родовища. Проведено докладний аналіз технологій видобутку та переробки горючих сланців.

It's been considered the role of combustible shales for energetics and chemistry of Ukraine, pointed its layers and done detailed analyze of extraction and converting technologies of Combustible shales.

Вступ

Енергія є однією з головних, базових потреб людства.

Ефективне розв'язання проблеми енергозабезпечення є першочерговим завданням розвитку будь-якої держави, здійснення нею незалежної зовнішньої політики, внутрішньої політичної і соціальної стабільності, піднесення економічного і культурного рівня життя населення.

Роль енергетики у розв'язанні завдань сталого розвитку постійно зростає.

Неухильне підвищення останнім часом світових цін на традиційні енергоносії та значне зростання ціни газу в Україні призводить до посилення впливу проблеми енергозабезпечення.

Програма розвитку ООН, Комісія ООН з проблем сталого розвитку, Світова енергетична рада та ряд інших міжнародних інституцій з проблем екології, енергетики та сталого розвитку дійшли однозначного висновку: діючі сучасні моделі виробництва, розподілу та використання енергії на національному, регіональному та глобальному рівнях нестабільні і нераціональні з погляду на екологію та фінансові витрати і вже наразі в багатьох країнах світу є перешкодою на шляху стабільного соціально-економічного розвитку.

Насамперед, це стосується великих міст, де залежність від традиційних джерел енергії призводить до забруднення повітря, зміни клімату і, як наслідок, несе загрозу здоров'ю людей [1].

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) України має свої особливості.

Інфраструктура видобування, переробки і використання енергоносіїв в Україні розвинута непогано.

Однак більшість підприємств ПЕК завантажені на 50 % і менше.

До того ж техніка і технологія видобування і використання енергоносіїв, насамперед, вугілля та нафти, з погляду на сучасний світовий рівень є недосконалими, неефективними, матеріало- та енерговитратними. Енергетика характеризується надмірною централізацією, недосконалим комбінуванням електричної і теплової енергії, слабким розвитком альтернативних (сонячна, гідро-, геотермальна) енергетик та недостатністю маневрових потужностей [2]. Отже, ПЕК України потребує значної структурної та технічної перебудови, модернізації.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз структури економіки і, зокрема, промислового сектора свідчить, що з огляду на обсяги споживання паливно-енергетичних ресурсів вона є несприятливою для ефективного вирішення проблеми енергозабезпечення.

Промисловість України має виробничі потужності і випускає таку енергоємну продукцію, як метал, цемент, клінкер, деякі хімічні продукти до двох разів більше, ніж це потрібно для власних потреб.

Більшість з цієї продукції не має значного попиту на світовому ринку, продається майже за демпінговими цінами, а тому часто буває збитковою для держави.

Структурна перебудова економіки на національні пріоритети здійснюється надто повільно. Причиною цього є, очевидно, відсутність науково обґрунтованої концепції і програми структурної перебудови економіки України. Для її підготовки в Україні достатньо компетентних науковців і наукових колективів.

Уряду України потрібно сформулювати завдання, організувати та забезпечити роботу виконавців.

На відміну від Росії, Білорусі та значної кількості інших країн в Україні проблеми поточної діяльності ПЕК організаційно вирішуються шістьма відомствами:

- Міненерго;
- Мінвугілля;
- Мінекобезпеки;
- Держкомнафтагаз;
- Держкоматом;
- Держкоменергозбереження.

За цих умов дуже складно, а інколи взагалі неможливо здійснювати системну енергетичну політику і вирішувати питання оперативного управління комплексом. Тому, перш ніж розпочати здійснення якоїсь цілісної системної програми енергозабезпечення України, необхідно ці відомства об'єднати (а подекуди частково передати ряд функцій) в один комплекс за аналогією з Мінпаливноенерго Росії та інших країн [1; 3].

Постановка завдання

В Україні організаційними заходами проблема енергозабезпечення й енергозбереження повністю не вирішується, бо потенціал цих заходів вичерпується за 15–20 рр.

Основний же потенціал вирішення зазначених проблем мають технічні заходи, які можна розглядати як другий етап реалізації програми енергозабезпечення.

Цей етап передбачає значні капіталовкладення як в енергозбереження, так і в удосконалення енергетичних технологій (розробку та вдосконалення технологій видобутку, переробку та споживання альтернативних джерел енергії).

Питомі капіталовкладення на створення 1 кВт установленної потужності у три–чотири рази більші, ніж на 1 кВт зекономленої. Цим визначається більш високий пріоритет необхідності розвитку енергозбереження порівняно з модернізацією енергетики.

Однак у тривалій перспективі неможливо буде обійтися без приросту енергетичних потужностей, тобто необхідні внески і в енергозбереження, і в розвиток енергетики [4]. Значну увагу у вирішенні проблеми енергозабезпечення треба приділити розвитку технології видобутку та споживання альтернативних джерел енергії.

Ураховуючи величезне значення горючих сланців для енергетичної та хімічної промисловості, їх високу рентабельність та доступність, необхідно значну увагу приділяти цьому виду альтернативного палива, причому спрямувати дії саме на вивчення та розробку інноваційних технологій видобутку та переробки горючих сланців в Україні.

Загальні відомості про горючі сланці

Горючі сланці – цінний вид палива й хімічної сировини, що складається з органічної (від 10–30 до 50–70%) і мінеральної (глинистої, кременистої та ін.) масових частин.

Вони утворюються на дні морів, лагун, озер як результат осадження глинистих часток, карбонатної речовини й сапропелевого мулу з органічними залишками (планктони, вищі рослини) в умовах обмеженої циркуляції води й повітря.

Горючі сланці застосовують у різних галузях народного господарства:

- енергетиці;
- хімічній промисловості;
- виробництві будівельних матеріалів;
- сільському господарстві;
- дорожньому будівництві.

Продукти переробки горючих сланців – це сировина для отримання:

- сірки;
 - оліфи;
 - фарб;
 - отрутохімікатів;
 - фенолів;
 - пластифікаторів;
 - дубителів;
 - клейових речовин;
 - іхтіолу;
 - препаратів для боротьби з ерозією ґрунтів, бур'янами та інших цілей хімічної промисловості.
- Тверді відходи видобутку, збагачення й переробки використовують як сировину для промисловості будівельних матеріалів, наприклад, цементу. Горючі сланці з високим змістом металів є рудною сировиною. При комплексній переробці горючих сланців існують технології попутного добування рідких металів (урану, ренію, ванадію та ін.). Але найголовніше те, що з горючих сланців можна одержати рідке паливо.

У багатьох країнах світу, наприклад, США, горючі сланці розглядаються переважно як потенційна сировина для одержання синтетичної нафти й газу шляхом підземної газифікації з використанням енергії ядерних вибухів для створення величезної підземної порожнини, заповненої зруйнованою сланцевою породою, що полегшує процес газифікації. Горючі сланці при сухій переробці дають значну кількість смоли, близької за складом до нафти.

Вихід смол становить 5–50%. Максимальна теплота згоряння дорівнює 14,6–16,7 МДж/кг.

За даними 7-ї Світової енергетичної конференції (1968), ресурси смоли в горючих сланцях не менше світових запасів нафти й газу.

Запаси горючих сланців у світі та Україні

На всіх континентах існують величезні поклади горючих сланців.

Відповідно до оцінки, виконаної в 1982 р. академіком Академії наук Естонії І.П. Епіком, у добре розвіданих сланцевих родовищах світу знаходиться близько 630 млрд. т еквівалентної нафти, у т. ч. в колишньому СРСР 120 млрд. т, що значно більше розвіданих запасів нафти. Потенційні же ресурси горючих сланців у світі становлять 450 трлн. т [5].

В Україні загальні запаси горючих сланців становлять 3,7 млрд. т.

Основні їх поклади зосереджені на межі Кіровоградської і Черкаської областей (у районі с. Бовтишка Олександрівського району). Виділено п'ять горизонтів потужністю 2–40 м, що залягають на глибині 180–500 м.

Уміст керогену становить 30–40%, вихід смол 10–20%, зольність 50–60%, теплота згоряння 10–16 МДж/кг. Поклади горючих сланців виявлені також в межах:

- Дніпровсько-Донецької западини;
- Волино-Подільської плити;
- Карпат;
- Кримських гір.

Менілітові сланці у великій кількості залягають у Карпатах [6].

Технології видобутку горючих сланців

У багатьох випадках гірничо-геологічні умови залягання горючих сланців обумовлюють велику складність і небезпеку видобутку.

Технології, засновані на шахтному видобуванні горючих сланців, характеризуються високою капіталомісткістю, інерційністю виробничого циклу, потребують періодичної реконструкції та негативно впливають на навколишнє природне середовище.

Отже, будувати шахти нерентабельно, а добувати сланці відкритим способом можна, але не завжди й не скрізь. Проте існує альтернатива.

У Росії (м. Саратов) нещодавно був розроблений та апробований принципово новий та економічно безпечний спосіб видобутку горючих сланців. Цей спосіб – дійсно унікальний і з погляду інженерних рішень, і з погляду сприятливого впливу на економіку та екологію.

Саратовський спосіб – безшахтний, заснований на створенні підземних горизонтальних каналів великого діаметра.

Технології переробки горючих сланців

Використання сланців як палива в електроенергетиці різних країн дотепер не знаходило застосування, за винятком Естонії та Росії.

Електростанції створені російськими фахівцями на середньокалорійних сланцях (теплота згоряння 8–9 МДж/кг).

Сланці спалюють у кусковому й пилоподібному вигляді.

Останній варіант найбільш прогресивний і реалізований на Балтійській й Естонській теплоелектростанціях (ТЕС), оснащених спеціально спроектованими казанами для факельно-пилового спалювання. Найкращі результати були досягнуті на Естонській ТЕС, де витрата умовного палива в 1989 р. становила близько 409 г у.п. / (кВт · год). Паливна складова собівартості електроенергії – близько 60%.

Проектна електрична потужність енергоблоків із двокорпусними казанами становить 200 МВт, параметри пари – 13,8 МА й 540°C.

ККД такої ТЕС становить близько 30%.

Однак практично ці показники ще гірше, оскільки внаслідок специфічних фізико-хімічних властивостей сланцевого палива відбуваються часті змушені зупинки устаткування. Його тривалі поточні й капітальні ремонти пов'язані із значними затратами.

Забруднення поверхонь нагрівання котлоагрегатів знижує їхню теплову ефективність й обмежує паропроодуктивність. Так, через місяць після планового ремонту потужність енергоблока знижується з 200 до 180 МВт. До того ж на ремонт казана витрачається 0,6 кг металу на 1 т спаленого сланцю.

Більші ускладнення створюють також значні викиди в атмосферу SO_2 – до 10 г/(кВт · год) – і сланцевого пилу, незважаючи на ефективну роботу електрофільтрів [7].

Технологія спалювання палива в “киплячому” шарі при атмосферному тиску, що розвивається в останні двадцять років, принципово дозволяє використовувати горючі сланці будь-якої калорійності із задовільними екологічними показниками.

Однак така технологія обмежує одиничну потужність казана та недостатньо ефективна.

Зокрема, вона виключає можливість застосування парогазового циклу.

У 1970–1990 рр. була створена й освоєна в промисловому масштабі піролітична технологія переробки горючих сланців, що дозволила розглядати сланці $Q_{\text{r}} \geq 3800$ кДж/кг як цілком прийнятне джерело палива для ТЕС, причому ККД таких станцій може перевищувати ККД ТЕС, що працюють на якісних вугіллях при тих самих параметрах пари.

Технологія реалізується при наближеному до атмосферного тиску.

Максимальний надлишковий тиск в апаратах становить 0,025–0,03 МПа.

Суть технології полягає в тому, що роздріблений до певного розміру й висушений сланець змішується з високотемпературним (800–850°C) теплоносієм, яким є власна зола сланцю, і подається в реактор піролізу, що обертається.

Тут сланець нагрівається за відсутності кисню до температури 460–490°C, і з нього видаляється парогазова суміш, що містить пари вуглеводнів, несконденсовані гази (H_2 , CO , N_2 , H_2S , CH_4 та ін.) і коксозольний залишок.

Парогазова суміш відводиться в конденсаційний пристрій, де пари вуглеводнів конденсуються, утворюючи сланцеву смолу з теплотою згорання від 25 до 38 МДж/кг залежно від якості сланцю.

Дизельна фракція сланцевої смоли придатна для використання як газотурбінне паливо, а інша її частина – як казанове паливо.

Несконденсований напівкоксний газ має теплоту згорання від 25 до 48 МДж/м³ (визначається якістю сланцю) і придатний як газотурбінне або казанове паливо.

Коксовий залишок відводиться з реактора піролізу в аерофонтанну топку, де його органічні складові доспалюються в потоці повітря. Тепло, що виділяється при цьому, використовується для нагрівання золи-теплоносія й для виробництва пари в казані-утилізаторі. Тобто пара витрачається на власні технологічні потреби й для одержання електроенергії. Ця технологія застосовується в промислових установках з твердим теплоносієм (УТТ) [8].

Техніко-економічні порівняння різних методів використання на ТЕС твердих палив показали, що найбільш ефективним напрямом слід вважати розвиток парогазових установок (ПГУ), що базуються на внутрішньоцикловій газифікації палива (ВЦГ).

Наявність газотурбінних установок (ГТУ) у складі ПГУ забезпечує можливість роботи енергоблоку в піковому й напівпіковому режимах. Однак у вітчизняній енергетиці розробка ПГУ на базі ВЦГ перебуває ще в початковій стадії [9].

У той самий час у Росії розроблено технологію термічної переробки сланців – процес «Галотер», реалізований в УТТ, що рівноцінна, а за деякими аспектами перевершує ВЦГ для ПГУ.

Перевагою цієї технології є те, що зі сланцю з теплотою згорання 7,8–8,4 МДж/кг одержують два висококалорійних палива:

- рідке з теплотою згорання 38–41 МДж/кг;
- газоподібне з теплотою згорання 41–46 МДж/кг.

Причому рідкого палива за масою виробляється в 2,5–3 рази більше, ніж газоподібного.

Можливість тривалого зберігання рідкого палива дозволяє забезпечити роботу енергоблоків у змінній частині графіка навантаження енергосистеми.

Така технологія реалізована на двох найбільших установках типу УТТ (УТТ-3000) продуктивністю по сланцю 139 т/год, споруджених на Естонській ТЕС.

Сьогодні УТТ-3000 – це найпотужніші й найефективніші у світі промислові установки.

Вони працюють ефективно з 1990 р., випускаючи товарну продукцію у вигляді двох фракцій сланцевої оливи (з температурами спалаху 65 і близько 20°C), які реалізуються споживачам як казанове паливо, а також напівкоксний газ, що спалює на енергоблоках Естонської ТЕС разом зі сланцем.

Ці установки не потребують класифікації сланцю, споживаючи всі фракції палива до 20 мм, а більші – з попереднім дробленням.

Для порівняння: одна із кращих бразильських технологій «Петролікс» використовує тільки класифікований сланець 6,5–65 мм. Такого ККД, як в УТТ-3000 (~39%), сьогодні не мають жодні конденсаційні електростанції навіть з надкритичними параметрами, що працюють на відносно якісних паливах [8; 9].

На УТТ-3000 можна робити [10; 11]:

- напівкоксний газ;
- газовий бензин з інтервалом кипіння 25–100°C;
- бензинову фракцію з інтервалом кипіння 65–200°C;
- дизельну фракцію або фракцію газотурбінного палива з інтервалом кипіння 200–350°C;
- середню оливу з інтервалом кипіння 320–450°C;
- важку оливу з температурою кипіння вище 450°C.

Під час переробки сланців можна разом з ними:

- переробляти вуглеводневмісні відходи (автопокришки, ґрунти й т.п. – до 10% об'єму сланцю);
- продавати золу (вихід 1,4 млн. т/р);
- переробляти фенольну воду (69 тис. т/р).

При переробці 250 тис. т гумових відходів додатковий вихід рідкої вуглеводневої фракції на УТТ-3000 становить 97,5 тис. т/р.

Найважливіша проблема – захист довкілля, насамперед, повітряного басейну, від викидів діоксиду сірки й золи.

Переробка сланцю на УТТ дозволяє радикально вирішити цю екологічну проблему [12]: знижуються викиди леткої золи та зміст сірки в паливі шляхом гідроочищення його світлих легких фракцій (див. таблицю).

Основні енергетичні й екологічні показники ТЕС, працюючих на сланці та продуктах його переробки

Показники	ТЕС із прямим спалюванням сланцю	ТЕС із ПГУ на продуктах переробки сланцю	Комбінована ТЕС (ПГУ з КУ+ПТУ або ПГУ скидного типу) на продуктах переробки сланцю	ТЕС на базі ПГУ з КУ на продуктах переробки сланцю
Витрата палива, г.у.п./ (кВт·год)	404	394	322	319/329*
Витрата палива (робочого сланцю), г/(кВт·год)	1,41	1,38	1,13	1,12/1,15
Загальні викиди пилу (золи), у т.ч. від УТТ, г/(кВт·год)	7,5–8,0	0,67–0,72	0,55–0,59	0,04–0,08
Викиди SO ₂ , г/(кВт·год):	–	0,05–0,10	0,04–0,08	0,04–0,08
без гідроочищення	10–11	3,0–3,2	2,5–2,6	2,5–2,6
з гідроочищенням	–	–	2,0–2,1	1,5–1,6
	–	0,5–0,6	0,4–0,5	0,4–0,5

* З гідроочищенням рідкого газотурбінного палива

Отже, ТЕС із ПГУ, що працюють на продуктах переробки сланцю за методом УТТ, відповідають найсучаснішим вимогам, що висуваються до екологічно чистих ТЕС.

Розрахунки показують, що для подібної ТЕС потужністю 600–700 МВт із димовідвідною трубою не вище 50 м концентрація діоксиду сірки в приземному шарі становить тільки 0,3–0,5 ГДК для повітря житлової зони [13].

Також існують інші принципово нові технології переробки горючих сланців, а саме: розроблено процес спільної термохімічної переробки важких нафтових залишків у суміші з горючими сланцями. В області температур 390–440°C за наявності сланцю активно протікають реакції гідрування неграничних сполук.

Дослідним шляхом при термічному крекінгу нафтового гудрону з додаванням 15% сланцю, що містить 32,2 % органічної частини, було отримано 1,5–4,0 % газу; 5,0–15,0 % бензину; 35,0–50,0 дизельної фракції; 15,0–30,0 % вакуумного газойля і крекінг-залишок, що може бути використаний як в'язкий матеріал – замітник нафтових дорожніх бітумів.

Запропонований спосіб має такі важливі переваги:

- відсутність спеціальних стадій деасфальтизації й деметалізації важкої нафтової сировини;
- здійснення процесу без спеціальних дорогих каталізаторів і водню;
- знесіркування рідких продуктів на 50–60%;
- можливість використання простого в технічному виконанні устаткування традиційного термічного крекінгу нафтових залишків.

Також існують технології отримання сланцевої оливи, що являє собою суміш смол термічної переробки горючих сланців.

Сланцева олива використовується як паливо в стаціонарних казанових установках, промислових печах і має ряд істотних переваг порівняно з нафтовими топковими мазутами, застосовуваними для тих самих цілей:

– у зимових умовах сланцева олива залишається рухливою до температури мінус 15°C і нижче, тоді як топкові мазути застигають при температурі плюс 10°C;

– в'язкість сланцевої оливи в три–шість разів нижче, ніж в'язкість топкових мазутів за однакових умов, а отже, витрати енергії на її перекачування нижчі;

– змішуючи сланцеву оливу з топковими мазутами, можна знизити в'язкість й температуру застигання останніх і тим самим досягти більш високих експлуатаційних якостей;

– сланцева олива містить майже в чотири рази менше сірчистих сполук, ніж топкові мазути, тому шкідливі викиди в атмосферу значно нижче [14].

Висновки

Сьогодні в багатьох країнах світу ведуться дослідницькі й дослідно-промислові роботи зі створення ефективних технологій з метою одержання зі сланців рідких і газоподібних висококалорійних палив та дефіцитних хімічних продуктів. Найбільший розвиток такі роботи одержали в Бразилії, Росії, Естонії, Австралії, США. Україна також не повинна стати винятком.

Розвідані запаси горючих сланців в Україні становлять 3,7 млрд. т, але поки що ці запаси знаходяться у резерві.

Новітні технології безшахтного видобутку в сукупності з інноваційними технологіями переробки горючих сланців, заснованими на внутрішньоцикловій газифікації в парогазових установках, дають можливість використовувати ці запаси з максимальною економічною ефективністю та екологічною безпекою.

Ураховуючи величезне значення цього виду палива для енергетики та хімії, економічну рентабельність та екологічну безпеку сучасних технологій видобутку і переробки горючих сланців, необхідний стрімкий розвиток сланцевої промисловості в Україні, адже це зробить вагомий внесок у паливно-енергетичний баланс країни й зможе забезпечити його стійкий розвиток на тривалий період.

Література

1. Коробко Б.П. Концепція стратегії довгострокового розвитку паливно-енергетичного комплексу України // Стратегічна панорама. – 2004. – № 7. – С. 3–8.
2. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: Підруч. /О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко та ін. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 255 с.
3. Марутовський Р.М. Практики сталого розвитку. – К.: Укр. вид. центр, 2002. – 81 с.
4. Щокін А.Р., Колесник Ю.В. Взаємозв'язок проблем екології та заходів з енергозбереження – вирішальний чинник сучасного етапу розвитку економіки держави // Стратегічна панорама. – 2004. – № 2. – С. 25–30.
5. Месторождения горючих сланцев мира /Под ред. В.Ф. Череповского. – М.: Наука, 2003. – 156 с.
6. http://www.intellect.org.ua/index.php?lang=u&theme_id=7244&material_id=55327
7. Кузнецов Д.Т. Энергохимическое использование горючих сланцев. – М.: Энергия, 1978. – 212 с.
8. Гаврилов А.Ф. Энергетика на базе новых технологий использования низкосортных топлив // Химия твердого топлива. – 2003. – № 6.
9. Перспективы создания промышленного производства из сланцев жидкого и газового топлив в Северо-Западном регионе России / Э.П. Волков, О.П. Потапов, М.С. Петров и др. – М.: Энергетика, 1996. – 175 с.
10. Демкин В.В., Потапов О.П. Перспективная технология использования горючих сланцев в энергетике // Новые технологии сжигания твердого топлива: их текущее состояние и использование в будущем. Сб. докл. – М.: ВТИ, 2001. – С. 51–56.
11. Волков Э.П., Гаврилов А.Ф. Горючие сланцы – конкурентоспособное топливо для теплоэнергетики новых технологий // Изв. Академии наук. – М.: Энергетика, 1998. – № 1. – С. 28–31.
12. Блохин А.И., Стельмах Г.П., Иорудас К.-А.А. Горючие сланцы для энергетики России // Новое в российской электроэнергетике: Ежемес. электронный журн. – 2001. – № 3 (март). – С. 8–15.
13. Эффективность пылеугольных ТЭЦ с новыми экологообеспечивающими технологиями / В.Г. Томилов, П.А.Щинников, Г.В. Ноздренко и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 185 с.
14. Новые технологии переработки высокосернистых сланцев / А.И. Блохин, М.Н. Зарецкий, Г.П. Стельмах и др. – М.: Светлый стан, 2001. – 267 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.06.